

average flow coefficient of warm period was 0.10 till reclamation, and remained the same during the period of 1956-1980, while the data of 1981-1995 show that the average flow coefficient increased – 0.11.

References

1. Aplinkos Apsaugos Agentūra. (2008) Preliminarus Nemuno upių baseinų rajono valdymo planas (Preliminary Management Plan of Basins of River Nemunas) Available at: http://files.gamta.lt/aaa/pranesimai/Nemuno_UBR_Valdymo_planas_12_27.pdf, 15 November 2012.
2. Jablonskis J., Kovalenkoviienė M., Tomkevičienė A. (2007) Lietuvos upų ir upelių vagų tinklas (Channel Network of the Lithuanian Rivers and Small Streams). *Annales Geographicae* 40 (1), pp. 46-56 (In Lithuanian)
3. Kilkus K., Stonevičius E. (2011) Lietuvos vandenų geografija (Lithuanian waters geography). 186 p. (In Lithuanian)
4. Lukianas A., Ruminaite R. (2009) Periodiškai šlapiu žemiu sausinimo drenažu įtaka upių nuotekiui (Impact of drainage on periodically wet land) Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1648-6897.2009.17.226-235>, 10 December 2012.
5. Staras, A. (2002) Vandens balanso modelių pritaikymo galimybės upių nuotėkio analizei (Possibilities of Adaptation of water balance models to river flow analysis). *Geografija*, 38, (1), pp.11 – 14 (In Lithuanian)
6. Zhi L., Wen-zhao L., Xun-chang Z., Fen-li Z. (2009) Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216940900479X#>, 27 November 2012.

УДК 628.3

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ОБЪЕКТАХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Адиканко И.И., Дубенок С.А.

Республиканское унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь, adikanko.ivan@gmail.com, dsnega@list.ru

Thermal energy facilities produce a peculiar kind of wastewater with high concentration of minerals. In order to improve the quality of waste wastewater it's necessary to perform an analysis and develop recommendations on optimization of water treatment systems based on the best available techniques.

Введение

Объекты теплоэнергетики имеют характерно высокий удельный расход исходной воды для выпуска продукции, а также специфические виды сточных вод, образующихся на различных процессах производства (водоподготовка, продувка, промывка оборудования и т.п.). Для осуществления основных производственных процессов (производство электроэнергии, пара и горячей воды) объекты теплоэнергетики используют, в основном, воду из поверхностных водных объектов, реже - из подземных источников. В соответствии с данными Государственной статистической отчетности об использовании воды по форме 1-вода (Минприроды) за 2014 год на крупнейших объектах теплоэнергетики были ис-

пользованы следующие объёмы поверхностных и подземных вод на собственные нужды: Березовская ГРЭС – 2,06 млн. м³; Минская ТЭЦ-5 – 5,53 млн. м³; Минская ТЭЦ-4 – 5,80 млн. м³; Минская ТЭЦ-3 – 6,36 млн. м³; Лукомльская ГРЭС – 7,66 млн. м³.

Объём и качество образующихся сточных вод на объектах теплоэнергетики зависит, прежде всего, от объёма воды, идущей на водоподготовку, её исходного качества, вида применяемых технологий и реагентов, используемых в процессе водоподготовки. В результате существует проблема с нейтрализацией и утилизацией высокоминерализованных сточных вод, образовавшихся в процессе водоподготовки. В настоящее время образовавшиеся высокоминерализованные сточные воды объекты теплоэнергетики сбрасывают, как правило, либо в системы коммунальной канализации, либо непосредственно в окружающую среду. Часть предприятий отводит данные сточные воды на собственные шламовые накопители.

Как показывает практика, концентрация загрязняющих веществ в отдельных видах сточных вод объектов теплоэнергетики гораздо выше, чем при заборе исходной воды из источника водоснабжения. Наиболее загрязненными сточными водами на объектах теплоэнергетики являются сточные воды от процессов водоподготовки. Водоподготовка проводится на всех объектах теплоэнергетики в целях обессоливания исходной воды, требуемой для питания паровых котлов, подпитки тепловых сетей и является основным фактором загрязнения сточных вод. Эти воды обычно загрязнены взвесью, кислотами, щелочами и солями и образуются на разных этапах обработки воды.

В большинстве установок водоподготовки, функционирующих в настоящее время на территории Республики Беларусь, используются технологические схемы, разработанные в 60-70 гг. прошлого века. Для использования в условиях Республики Беларусь передовых научно-технических разработок в области водоподготовки объектов теплоэнергетики актуальным становится вопрос об анализе существующих методов, технологий и схем водоподготовки, а также разработка рекомендаций по их оптимизации с учётом экономических и экологических показателей, с целью снижения воздействия объектов теплоэнергетики на окружающую среду и получение экономической выгоды от использования сточных вод водоподготовки в технологических процессах.

Основная часть

Основной целью данной статьи является анализ подходов к решению задач оптимизации технологий обращения с высокоминерализованными сточными водами водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь с целью сокращения их поступления в окружающую среду.

Оптимизация водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь связана с решением следующих задач:

- исследование технологических процессов водоподготовки на объектах теплоэнергетики и обращения с высокоминерализованными сточными водами от водоподготовки на объектах теплоэнергетики;
- исследование оборудования и технологических схем водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь.

При исследовании водоподготовки на объектах теплоэнергетики в первую очередь требуется определить основные типы сточных вод и технологические процессы, в результате которых они образуются.

Схема водоподготовки на объектах теплоэнергетики, как правило, включает в себя следующие установки: осветлители, механические фильтры, установки деминерализации воды. В Республике Беларусь наиболее характерно использование ионообменных технологий деминерализации, а также постепенное внедрение мембранных технологий обработки воды. Для улучшения процесса осаждения твердых частиц в осветлители осуществляется подача коагулянта, что приводит к формированию развитой системы реагентного хозяйства на объектах теплоэнергетики.

Ниже приведены основные типы сточных вод водоподготовительных установок (ВПУ), ориентировочные объёмы образующихся сточных вод и содержащихся в них загрязнений, а также способы их очистки и утилизации.

Сбросные воды реагентного хозяйства

Данные воды содержат примеси реагентов, применяемых на водоподготовительных установках (CaO , FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NaCl , H_2SO_4 , NaOH , CaCO_3). Несмотря на высокую концентрацию примесей, объём этих вод составляет 0,1 – 0,5% от объёма обработанной воды [1]. Целесообразно направлять их в циклические системы гидрозолоудаления с последующим использованием вод на производство тепло- и электроэнергии.

Продувочные воды осветлителей образуются ежедневно в объёме 1– 3% от объёма обработанной воды и содержат до 2% сухого шлама (CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Их необходимо направить в специальные уплотнители для увеличения концентрации сухого вещества в шламе до 5% и более [1]. Осветлённая вода с уплотнителей должна подаваться обратно в осветлители или на механические фильтры, а шлам – на фильтрпрессы.

Сбросные воды после промывки механических зернистых фильтров или при спуске первого фильтрата получают периодически; за одну промывку 40–100 м³ при общем расходе 2–5 % от количества обрабатываемой воды [1]. Они загрязнены взвесью того же состава, что и продувочная вода осветлителей, но в меньшем количестве (500–1000 мг/л). Эти воды должны подаваться на отстаивание (до содержания взвеси 50—100 мг/л), а затем полностью возвращены на фильтры или в осветлители, при невозможности отстаивания или при содержании взвеси после отстаивания более 100 мг/л — только в осветлители.

Сбросные воды после регенерации Na-, H-, H–Na-катионитных фильтров образуются в процессе удаления солей и состоят из двух видов:

отработанного раствора с содержанием регенерирующих реагентов NaCl , H_2SO_4 и вытесненных из катионита солей CaCl_2 , CaSO_4 , MgCl_2 и MgSO_4 . Объём сточных вод составляет 2–3% от количества профильтрованной (умягченной) воды;

отмывочных вод с содержанием тех же загрязнений объёмом 3 – 5% от количества профильтрованной воды [1].

С целью сокращения сброса NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 на 30–50% рекомендуется повторное пропускание части отработанного регенерационного раствора, не насыщенного Ca^{2+} и Mg^{2+} , через истощённый Na-катионит, перед пропусканием свежего раствора (что сокращает расход регенерирующего реагента на 30–50%) и обработка дважды отработанного раствора соли содой и известью для осаждения CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

В отдельных случаях более целесообразны возврат отработанного раствора соли и отмывочных вод после Na-катионитных фильтров и обработка их известью и содой в осветлителях вместе с исходной водой в схемах подготовки воды для нетребовательных потребителей. При этом сброс сточных вод с ВПУ практически прекращается (~1 %), но возрастают солесодержание питательной

воды и количество продувочной воды котлов. Общее количество сточных вод объекта теплоэнергетики при этом сокращается. «Мягкие» продувочные воды котлов могут использоваться для подпитки закрытых тепловых сетей, питания испарителей, растворения реагентов или для других целей.

Значительно сложнее осуществляется утилизация или очистка сточных вод после Н- или Н-На-катионитных фильтров. Отработанный регенерационный раствор серной кислоты после регенерации и первые порции отмывочной воды содержат значительное количество (100—140 ммоль/л) CaSO_4 и свободную (неизрасходованную для обмена на Ca^{2+}) серную кислоту. CaSO_4 содержится в количествах, в 2-4 раза превышающих предел насыщения воды при 20-25 °С. При таком пресыщении раствор очень нестабилен и склонен к выделению CaSO_4 в дренажных системах на стенках труб, резервуаров, фильтров и т.д., что приводит к увеличению времени отмывки и перерасходу воды.

Содержащиеся в отработанном растворе и промывочной воде остатки кислоты должны пропускаться через предвключенный Н-катионитный фильтр (для "голодной" регенерации). Пройдя через фильтр, отработанный раствор теряет кислоту, приобретает нейтральную реакцию и содержит большие количества $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$. После разбавления технической водой до содержания $\text{Ca}^{2+} < 20$ ммоль/л этот раствор может быть сброшен в систему гидрозолаудаления.

Отработанный раствор кислоты после Н-катионитных фильтров II—III ступеней, содержащий большие количества свободной кислоты и незначительные концентрации ионов $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, рекомендуется подавать для регенерации фильтров I ступени или предвключенных фильтров с "голодной" регенерацией (сдвоенные последовательные регенерации).

Нейтрализация отработанных растворов кислоты и промывочной воды Н-катионитных фильтров допускается только первыми порциями отработанного раствора щелочи после регенерации анионитных фильтров преимущественно I—II ступеней, насыщенных Na_2SiO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , которые не могут быть использованы более рационально. Применение свежей щелочи для нейтрализации кислых стоков является крайне нерациональным.

Как правило, все кислые воды лучше нейтрализуются известковым молоком, молотой известью, магнезитом, хуже – молотым мелом или доломитом. Возможно применение шлама из осветлителей, содержащего CaCO_3 (мел, мрамор) и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Шлам, содержащий только $\text{Al}(\text{OH})_3$ или $\text{Fe}(\text{OH})_3$, для нейтрализации непригоден, так как соли $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ сами имеют кислую реакцию.

Отработанные регенерационные растворы (щелочь) и отмывочные воды после регенерации анионитных фильтров из-за их большого объема (15–20 м³/м³ анионита) должны быть собраны и повторно использованы на водоподготовительной установке.

Нейтрализация кислотой щелочных сточных вод после анионитных фильтров обычно не предусматривается, потому что их обычно не хватает для нейтрализации кислых сточных вод Н-катионитных фильтров.

Кроме вышеперечисленных технологий обработки воды на объектах теплоэнергетики, в настоящее время внедряются методы мембранной обработки воды.

Сбросные воды мембранной установки, образовавшиеся в процессе эксплуатации, состоят из двух видов:

- концентрат, образовавшийся в процессе мембранной очистки воды;
- сточные воды кислотных промывок, образовавшиеся в процессе химической мойки мембранного блока.

Технологический процесс, основанный на мембранных технологиях (нано-фильтрация, обратный осмос), разделяет поток исходной воды на пермеат – очищенную воду и концентрат – высокоминерализованную сточную воду. В отличие от большинства водоподготовительных технологий, технологии на мембранной основе имеют высокий расход воды на собственные нужды (до 30% от обрабатываемой воды), в результате чего на объектах теплоэнергетики образуется значительный объем высокоминерализованных сточных вод. Для снижения их сброса необходимо организовать отвод концентрата, образовавшегося в процессе приготовления очищенной воды мембранной установкой, на осветлитель.

Для проведения химической мойки мембранного блока от загрязнений (коллоидных примесей, осадков железа, солей жесткости, органических соединений, микроорганизмов) используют специальные кислотные и щелочные растворы. Для сокращения объемов сточных вод кислотных промывок в конструкции установки должна быть предусмотрена более эффективная и экономическая циркуляционная регенерация через мембранные элементы, позволяющая минимизировать объем регенерирующего раствора.

Заключение

Из изложенного следует, что система водоподготовки для уменьшения сброса в канализацию и водные объекты сточных вод должна располагать развитой системой трубопроводов или лучше самотечных каналов и подземных сборных резервуаров для раздельной транспортировки, приемки, хранения, отстаивания, обработки и подачи на повторное использование всех сточных вод.

Конструктивные особенности систем канализации объекта теплоэнергетики определяются как принятой схемой обработки и качеством исходной воды, так и принятой схемой регенерации и вторичного использования сточных вод и растворов.

Анализ применяемых технологий водоподготовки показывает, что для сокращения объёма сточных вод необходимо повторное или последовательное использование воды в различных циклах, а для сокращения количества загрязняющих веществ в сточных водах – применение рационального сочетания существующих технологий обработки воды.

В Европейском Союзе и Российской Федерации утверждён ряд документов (справочных руководств), описывающих наилучшие доступные методы для снижения поступления загрязнений в окружающую среду и решения основных экологических проблем с учетом структуры и характера промышленного сектора [2-4]. В указанных документах рассматриваются общие критерии, применяемые к затратам по технологиям, их экологической эффективности, включая предполагаемое воздействие на различные элементы окружающей среды. Разработка национальных справочных руководств и их применение в условиях Республики Беларусь должны быть научно-методической основой при оптимизации водоподготовки на объектах теплоэнергетики страны.

Для проведения оптимизации технологий водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь остаются актуальными:

- анализ наилучших доступных методов, применяемых в процессе водоподготовки на объектах теплоэнергетики;
- анализ работы систем водоподготовки на крупных объектах теплоэнергетики и оценка их эффективности;
- разработка национального справочного руководства Республики Беларусь по очистке, использованию и утилизации высокоминерализованных сточных вод с целью снижения их поступления в системы канализации и в окружающую среду.

Список литературы

1. Водоснабжение, водоподготовка и очистка сточных вод. Цикл лекций для студентов специальности "Промышленная теплоэнергетика" – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://stringer46.narod.ru/WPAdvertisement.htm/>, свободный – Загл. с экрана.
2. Reference documents under the IPPC Directive and the IED [Электронный ресурс] / European Commission, Joint Research Centre – Seville, Spain, 2008 – Режим доступа: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>, свободный – Загл. с экрана.
3. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, July 2006 – 618 p.
4. Справочник по наилучшим доступным техническим методам для повышения эффективности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду в теплоэлектроэнергетике, г.Москва, 2008 – 123 с.

УДК 637.1/.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ НИТРАТОВ

Андреюк С.В.

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, asv75@mail.ru

Study of methods of physical-chemical purification of natural waters from nitrates and nitrites. The article considers methods: chlorination, electrodialysis, reverse osmosis, ion exchange; the results of a study of water treatment process of nitrate by ion exchange.

Введение

В настоящее время нитратное загрязнение подземных вод является серьезной проблемой для многих стран, а тенденция роста соединений азота в природных водах во многих регионах становится угрожающей. Подземные воды являются основными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения в Беларуси. На их долю приходится до 95% питьевого водоснабжения. А за последние 2-3 десятилетия в пределах сельхозугодий имеет место увеличение минерализации грунтовых вод в среднем со 190 (естественный фон) до 366 мг/л, при этом средняя концентрация нитратов составляет 140 мг/л, что в 3 раза превышает допустимый уровень (45 мг/л) [1].

Присутствие в воде, используемой для питьевого водоснабжения, минеральных азотсодержащих соединений (аммоний, нитраты, нитриты) приводит к заболеванию водороднитратной метгемоглобинемией и развитию различных степеней кислородного голодания организма.

Азотсодержащие вещества попадают в систему грунтовых вод из различных источников, естественных или антропогенных. Источники загрязнения могут быть локальными или носить площадной характер. Главными естественными источниками являются: почвенный азот, богатые азотом биологические отложения и атмосферные осадки. Основными источниками антропогенной деятельности, активно влияющими на состав грунтовых вод, являются азотные удобрения, дренажные воды септических бассейнов, животноводческие фер-